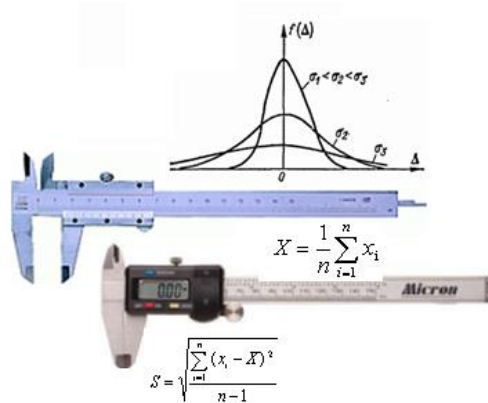


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Харьковский политехнический институт»



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы

**«ОБРАБОТКА И ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ»**

по дисциплинам

«Метрология и основы измерений»,

«Метрология, стандартизация, сертификация и аккредитация»,

«Системы технологий»

Харьков

НТУ «ХПИ»

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Харьковский политехнический институт»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы

«ОБРАБОТКА И ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ»

по дисциплинам

«Метрология и основы измерений»,

«Метрология, стандартизация, сертификация и аккредитация»,

«Системы технологий»

для студентов специальностей «Прикладная механика», «Менеджмент»
дневной, заочной и дистанционной форм обучения,
в том числе для иностранных студентов

Утверждено

редакционно-издательским
советом университета,

протокол № 1 от 30.01.18 г.

Харьков

НТУ «ХПИ»

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Обробка та форма представлення результатів прямого вимірювання з багатократними спостереженнями» з дисциплін «Метрологія і основи вимірювань», «Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація», «Системи технологій» для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Менеджмент» денної, заочної та дистанційної форм навчання, у тому числі для іноземних студентів / Уклад.: Л.І. Пупань. – Харків: НТУ «ХП», 2018. – 24 с. – Рос. мовою.

Укладач Л.І. Пупань

Рецензент Г.К. Крижний

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка

ВСТУПЛЕНИЕ

В современном обществе метрология как наука об измерениях и область практической деятельности играет большую роль. Это связано с тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы ни использовались результаты измерений. На основе измерений получают информацию о состоянии производственных, экономических и социальных процессов.

С развитием науки и техники измерения все более усложняются, повышается количество измерений различных величин.

Измерение – сложная процедура, включающая целый ряд последовательных и взаимодействующих элементов.

Одной из важнейших, завершающих процедуру измерения операций является обработки экспериментальных данных, включающая проведение вычислений согласно принятому алгоритму, получение результата измерения, оценку его точности и достоверности, запись результата и его погрешности в соответствии с установленной формой представления.

В данной лабораторной работе рассматривается методика обработки результатов прямого измерения с многократными наблюдениями и форма представления полученных данных.

Работа предполагает выполнение индивидуального задания, связанного с измерением линейных размеров изделия нониусным и электронным штангенциркулем, микрометром, а также обработкой и представлением результатов наблюдения в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ Р 8.736-2011.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

▲ ознакомиться с устройством и принципом работы универсальных средств измерения линейных размеров;

▲ ознакомиться с понятиями точности и погрешности измерений, методикой представления результатов прямых многократных измерений линейных величин;

▲ выполнить индивидуальную работу по измерению линейных размеров изделия штангенциркулем, представить результаты наблюдения в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ Р 8.736-2011 (Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения).

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Линейные измерения

Линейные измерения – определение расстояний между заданными точками, определение размеров изделий, элементов сооружений и конструкций – применяются *во многих областях производственной деятельности*.

Методы линейных измерений можно классифицируют по разным признакам, например:

▲ *по способу получения информации:*

- *прямые измерения* (результат получают непосредственно из опытных данных, т.е. происходит непосредственное сравнение физической величины с ее мерой);
- *косвенные измерения* (значение искомой величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными в результате прямых измерений);
- *совокупные измерения;*
- *общие (совместные) измерения;*

▲ *по количеству измерительной информации:*

- *однократные измерения* – одно измерение одной величины, т.е. число измерений соответствует количеству измеряемых величин. Практическое использование всегда связано с большими погрешностями, поэтому сле-

дует проводить не менее 3-х однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение;

- *многократные измерения* – характеризуются повышенным числом измерений измеряемых величин. Минимальное число – более трех. Преимуществом таких измерений является снижение влияния случайных факторов на погрешность измерения;

▲ *по связи с объектом измерения: бесконтактные и контактные методы;*

▲ *по характеру изменения измеряемой величины: статические, динамические, статистические измерения и т.д.*

2.2. Средства линейных измерений

Диапазон измеряемых в современных технологиях расстояний огромен (от 10^{-15} до 10^{26} м). Естественно, что и средства измерений, применяемые в различных частях этого диапазона, различны.

Выбор средств измерения зависит от вида контроля, метрологических факторов, точности изготовления изделий, масштабов производства, конструктивных и экономических показателей.

В частности, *средства измерений могут быть универсальными* (предназначенными для измерения одного или нескольких параметров различных по конструкции изделий) и *специальными* (предназначенными для измерения одного или нескольких параметров деталей определенного типа, например, приборы для измерения параметров зубчатых колес, диаметров глубоких отверстий).

К наиболее распространенным в производственной практике *универсальным средствам измерения линейных размеров* относят: измерительные линейки; штангенциркуль; микрометр; инструментальные и универсальные микроскопы; скобы рычажные; индикаторы часового типа и т.д.

Данные инструменты (приборы) могут быть применены в контрольно-измерительных лабораториях всех типов производств, а также в цехах единичных и мелкосерийных производств.

Одним из важнейших показателей, определяющих выбор средства измерения, является точность изготовления изделий.

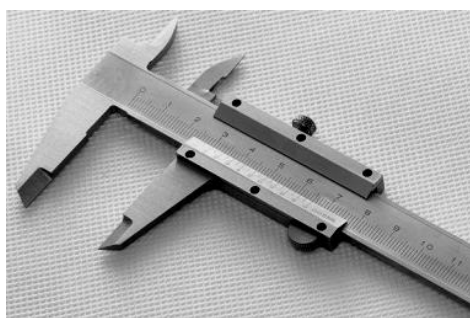
2.2.1 Штангенциркуль как универсальный инструмент для линейных измерений

Штангенциркуль (ГОСТ 166-89, ИСО 3599-76) представляет собой универсальный раздвижной инструмент для измерения внешних и внутренних размеров, а также глубины и высоты.

Штангенциркули, благодаря достаточно простой конструкции, удобству в обращении и скорости в работе, являются одним из самых популярных инструментов и применяются практически во всех областях, связанных с производственной деятельностью.

В соответствии с ГОСТ 166-89 измерительные поверхности штангенциркулей изготавливают из инструментальной и конструкционной стали (твердость не менее 59 HRC), из высоколегированной нержавеющей стали (твердость не менее 51,5 HRC); рабочие поверхности подвергают хромированию, армируют твердым сплавом.

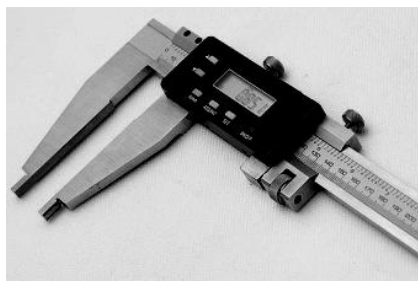
Штангенциркули могут быть разных типов, рис.2.1, в т.ч. с разным пределом измерений (0...125 мм, 0...200 мм, 0...500 мм, 500...1400 мм, 800...2000 мм и т.д.), с разной ценой деления (0,1 мм, 0,02 мм, 0,05 мм); по способу снятия показаний – нониусные, стрелочные, например, с цифровой индикацией (электронные) и т.д.



а



б



в

Рисунок 2.1 – Различные типы штангенциркулей:
а – нониусный; б – стрелочный; в – цифровой

Штангенциркуль, рис. 2.2, представляет собой две измерительные поверхности 1 и 7 (измерительные губки – верхние и нижние), между которыми устанавливается измеряемая деталь. Одна из поверхностей составляет единое целое с линейкой (штангой) 4, а другая соединена с движущейся по линейке рамкой 2, на которой устанавливается или гравится нониус 6, позволяющий определить доли миллиметра.

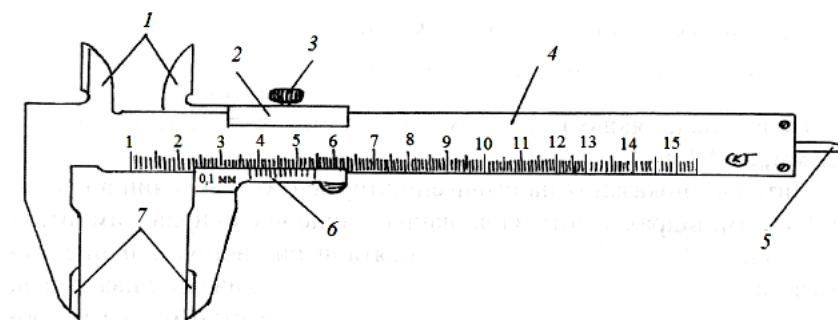


Рисунок 2.2 – Штангенциркуль ЩЦ-I:
1 – губки для внутренних измерений;
2 – рамка; 3 – зажим рамки; 4 – штанга;
5 – линейка глубиномерная;
6 – нониус; 7 – губки для внешних измерений

На линейке деления нанесены через 1 мм.

Нониусы выполняют с ценой деления 0,1; 0,02 и 0,05 мм.

Точность, с которой можно определить отсчет по шкале штангенинструмента, зависит от того, на сколько интервал деления шкалы нониуса меньше интервала деления основной шкалы.

В основе отсчета по нониусу лежит способность человеческого глаза определять степень совпадения штрихов двух сомкнутых шкал.

При измерении штангенциркулем целые миллиметры отсчитываются непосредственно по шкале штанги до нулевого штриха нониуса, а дробные доли миллиметра – по шкале нониуса. При этом дробная величина (количество десятых долей миллиметра) определяется умножением цены деления нониуса на порядковый номер штриха нониуса (не считая нулевого), совпадающего со штрихом штанги, рис.2.3.

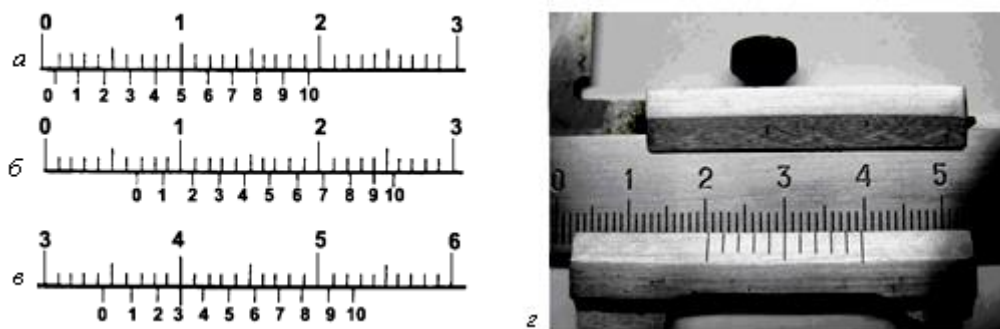


Рисунок 2.3 – Положение шкал штангенциркуля при отсчете размеров
(для штангенциркуля с ценой деления нониуса 0,1 мм):
 $a - 0,5$ мм; $b - 6,9$ мм; $c - 34,3$ мм; $z - 20,5$ мм

2.2.2. Микрометр

При выполнении точных линейных измерений внешних поверхностей в машиностроении широко используют **микрометры** (ГОСТ 6507-90) – измерительные приборы для определения линейных размеров *абсолютным контактным методом*.

Принцип их действия основан на использовании микровинтовой пары (микрометрического винта и гайки) и *преобразования вращательного движения в поступательное* (перемещения винта вдоль оси при вращении его в неподвижной гайке).

Микрометры предназначены для измерения наружных диаметров изделий, их длины и ширины, толщины листов и лент, толщины стенок деталей и труб.

Общий вид микрометра показан на рис. 2.4.

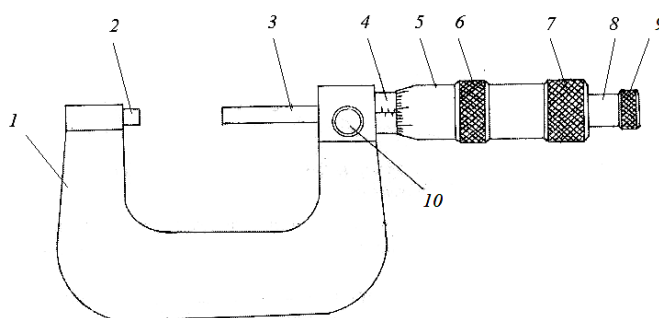


Рисунок 2.4 – Устройство микрометра:
 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стержень; 5 – барабан; 6 – гайка;
 7 – установочный колпачок; 8 – трещотка; 9 – храповик; 10 – стопор

Корпусом инструмента является скоба 1, в которую запрессованы с одной стороны пятка 2, с другой – стебель 4, на правом конце которого нарезана внутренняя цилиндрическая и внешняя коническая резьба. Одной из измерительных поверхностей является торец пятки, другой – торец микрометрического винта 3, перемещающегося внутри стебля резьбой и выдвигающегося из стебля. На внешнюю коническую резьбу стебля накручивается гайка 6, предотвращающая мертвый ход винта. Сверху на стебле находится барабан 5, жестко связанный с микрометрическим винтом с помощью установочного колпачка 7. На конусном конце барабана находится круговая шкала.

Для обеспечения стабильности усилия измерения $7 \pm 2 \text{ Н}$ (повышение усилия винта на измеряемую деталь может привести к неточности измерения) микрометр имеет специальный стабилизатор усилия – трещотку 8. Трещотка соединена с винтом так, что при увеличении измерительного усилия свыше 9 Н она не вращает винт, а проворачивается с характерными щелчками. Для фиксации полученного размера служит стопор 10.

На стебле нанесена шкала с двумя рядами штрихов с интервалом 1 мм. Верхние штрихи смещены относительно нижних на 0,5 мм, т.е. цена деления шкалы стебля – 0,5 мм. На конической поверхности барабана также нанесена шкала, цена деления которой составляет 0,01 мм.

Целые миллиметры и полумиллиметры отсчитывают по шкале стебля, а десятые и сотые доли миллиметра – по шкале скоса барабана, рис. 2.5.

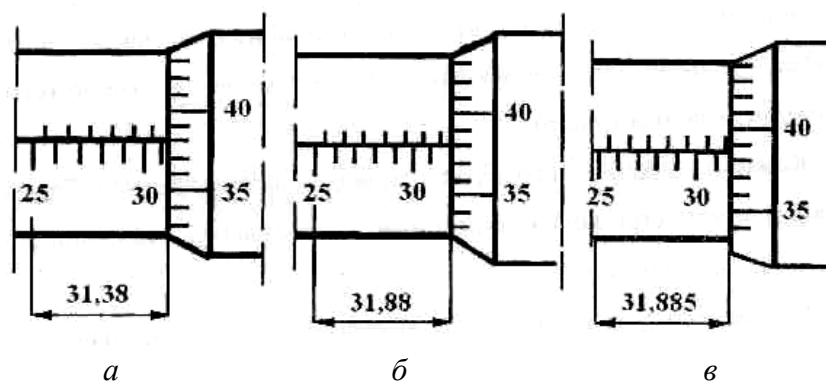


Рисунок 2.5 – Примеры отсчетов

Аналогично штангенциркулям, существует большое многообразие типов микрометров. Микрометры выпускаются в ручном и настольном вариантах, с возможностью отсчета по шкале стебля, со стрелочным отсчетом, с цифровым отсчетом и т.д.

2.3. Точность и погрешность измерения

Любые измерения направлены на получение результата, т.е. оценки истинного значения физической величины в принятых единицах. Вследствие несовершенства средств и методов измерений, воздействия внешних факторов и многих других причин результат каждого измерения неизбежно имеет погрешность, т.е. *отклонение результата измерения от истинного значения*. Качество измерения тем выше, чем ближе результат измерения к истинному значению.

Количественной характеристикой качества измерений является погрешность измерения Δx , определяемая как разность между измеренным $x_{\text{изм}}$ и истинным $x_{\text{ист}}$ значениями измеряемой величины

$$\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}}. \quad (2.1)$$

Строго говоря, применение формулы (2.1) для вычисления погрешности измерения невозможно, поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно. Поэтому это выражение погрешности используется только в теоретических исследованиях, а на практике $x_{\text{ист}}$ заменяется на его оценку – действительное значение величины $x_{\text{д}}$ и погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}}. \quad (2.2)$$

Поскольку действительное значение измеряемой величины только с той или иной степенью приближения заменяет истинное, то *погрешность измерения, найденная относительно действительного значения*, будет отличаться от погрешности измерения, которая могла бы быть найдена относительно истинного значения и является *приближенной оценкой «истинной» погрешности измерения*. Имея в виду сказанное, далее будем для простоты применять термин «истинное» значение вместо действительного.

Погрешность, выраженная в соответствии с формулами (2.1) и (2.2), имеет размерность измеряемой величины и называется **абсолютной погрешностью**.

Используется также понятие **относительной погрешности** – погрешности, выраженной в долях измеряемой величины. Относительные погрешности выражают принятыми в системе СИ относительными величинами – безразмерным числом, в процентах и т.д.:

$$\gamma_{\text{отн}} = (\Delta x / x_{\text{д}}) \cdot 100 \%. \quad (2.3)$$

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности

к условно принятому (нормирующему) значению x_n измеряемой величины; как правило, выражается в процентах:

$$\gamma = (\Delta x / x_n) \cdot 100 \%. \quad (2.4)$$

Для аналоговых средств измерения в качестве нормирующего чаще всего принимают наибольшее значение по шкале прибора.

Понятие погрешности характеризует как бы несовершенство измерения. Позитивной характеристикой качества измерения является **точность измерения**.

Точность и погрешность связаны обратной зависимостью – измерение тем более точно, чем меньше его погрешность. *Количественно точность выражается числом, равным обратному значению относительной погрешности*. Так, если погрешность измерения составляет $2 \cdot 10^{-5}$, то его точность $5 \cdot 10^4$.

*Стандартизованной является оценка качества измерения с указанием погрешности. При этом предпочтение отдается выражению погрешности измерения в форме **относительной погрешности** как наиболее информативной, дающей возможность объективно сопоставлять результаты и оценивать качество измерений, выполненных в разное время или разными экспериментаторами.*

Будучи важнейшей характеристикой результата измерения, определяющей степень доверия к нему, погрешность должна быть обязательно оценена. Для разных видов измерений задача оценки погрешности может решаться по-своему, погрешность результата измерения может оцениваться с разной точностью, на основании разной исходной информации. В соответствии с этим различают измерения с «точной» (в смысле, с наивысшей достижимой точностью), «приближенной» и «предварительной» оценкой погрешностей.

♦ При измерениях с «**точной**» оценкой погрешности учитываются индивидуальные метрологические свойства и характеристики каждого из примененных средств измерения, анализируется метод измерений, контролируются условия измерений с целью учета их влияния на результат измерения.

♦ При измерениях с «**приближенной**» оценкой погрешности учитывают лишь нормативные, типовые метрологические характеристики средств измерения и оценивают влияние на результат измерения лишь отклонений условий измерения от нормальных.

♦ Измерения с «**предварительной**» оценкой погрешности выполняются по типовым методикам выполнения измерений, регламентированным нормативно-технической документацией, в которых указываются методы и условия

измерений, типы и погрешности используемых средств измерений. На основе этих данных заранее оценивается и указывается в методике возможная погрешность результата.

В инженерной практике обычно имеют дело с двумя последними видами измерений и приемами оценки погрешности результата измерения, относящегося к категории «технические измерения».

Погрешность результата каждого конкретного измерения складывается из многих составляющих, обязанных своим происхождением различным факторам и источникам. Традиционный аналитический подход к оценке погрешности результата состоит в выделении этих составляющих, изучении их по отдельности и последующем суммировании.

В частности, *по характеру проявления во времени* выделяют *систематические и случайные составляющие погрешности*.

Систематические погрешности порождаются несовершенством приборов; неточной установкой прибора; смещением шкалы прибора; неточной установкой стрелки прибора в нулевом положении; недостаточной чувствительностью прибора; неучетом тепловых, электрических и магнитных полей, давлений, влажности и других внешних факторов, влияющих на результат измерений; приближенным характером уравнений и констант, используемых для расчета определяемых величин и т.д.

Характерной особенностью систематических погрешностей является то, что при любом измерении они либо только увеличивают, либо только уменьшают результат измерений, изменяя его всегда в одном направлении.

Систематические погрешности не описываются методами математической статистики. Их можно уменьшить путем изучения приборов, которыми пользуются при выполнении работ, и введением соответствующих поправок в результат измерений.

Случайные погрешности вызываются неточностью отсчетов, которую невольно может допустить всякий экспериментатор. Они обусловлены несовершенством органов чувств, посредством которых получают сведения о внешнем мире. Кроме того, случайные погрешности вызываются многочисленными трудно учитываемыми кратковременными факторами, каждый из которых приводит к незначительному изменению результатов измерений. Случайные погрешности обнаруживаются путем повторных измерений.

В отличие от систематических погрешностей случайные погрешности подчиняются *законам математической статистики*. Теория ошибок, постро-

енная на теории вероятностей, позволяет определить степень влияния величины случайных погрешностей на окончательный результат измерений.

2.4. Обработка результатов прямых многократных измерений

Правила обработки результатов измерений с многократными наблюдениями учитывают следующие факторы:

- обрабатывается ограниченная группа из n наблюдений;
- результаты наблюдений x_i могут содержать систематическую погрешность;
- в группе наблюдений могут встречаться грубые погрешности;
- распределение случайных погрешностей может отличаться от нормального.

В соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 при обработке результатов прямых многократных измерений выполняют следующие действия.

▲ Производят многократные (не менее 4-х) независимые измерения некоторой случайной величины x .

▲ Проверяют гипотезу о принадлежности результатов измерений к *нормальному распределению*. При числе результатов измерений $n \leq 15$ принадлежность их к нормальному распределению не проверяют. При числе результатов измерений $15 < n < 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению применяют составной критерий, см. ГОСТ Р 8.736-2011.

▲ Исключают известные систематические погрешности из результатов измерений (введением поправки), см. п.2.3.

▲ В качестве результата измерений принимают среднее арифметическое результата отдельных исправленных измерений

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.5)$$

где n – количество измерений; x_i – результат отдельного измерения.

▲ Наличие случайных погрешностей вызывает рассеяние результатов измерений. В качестве основной числовой характеристики случайного рассеяния результатов измерений принята дисперсия $D = \sigma^2$ или стандартное отклонение σ . Ограниченное число результатов измерений позволяет получать лишь оценки этих характеристик. Оценку рассеяния результатов измерения относительно среднего значения производят с помощью *среднего квадратического отклонения* S измеряемой величины, которое вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}}. \quad (2.6)$$

где n – количество измерений; $\alpha = (x_i - X)$ – отклонение результата i -го измерения от среднего арифметического X .

▲ Поскольку число наблюдений в группе ограничено, то заново повторив серию наблюдений этой же величины, получают новое значение среднего арифметического. Характеристикой его рассеяния является *стандартное отклонение среднего арифметического*:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (2.7)$$

▲ Следующий шаг – исключение грубых погрешностей (промахов), т.е. погрешностей измерения, существенно превышающих зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей.

Для исключения грубых погрешностей используют различные критерии, например, *статистический критерий Граббса*, который основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит *нормальному распределению*.

Вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший x_{\max} или наименьший x_{\min} результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - X|}{S}, \quad G_2 = \frac{|X - x_{\min}|}{S}. \quad (2.8)$$

Далее сравнивают вычисленные значения G_1 и G_2 с теоретическим значением G_T критерия Граббса при выбранном уровне значимости q . Таблица теоретических значений критерия Граббса приведена в Приложении А.

Проверку гипотезы о том, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, проводят с уровнем значимости q от 10% до 2%. Величины уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике измерений.

Если $G_1 > G_T$, то x_{\max} исключают как маловероятное значение. Если $G_2 > G_T$, то x_{\min} исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений, процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Если $G_1 \leq G_T$, то x_{\max} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений. Если $G_2 \leq G_T$ то x_{\min} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений.

▲ Определяют *доверительные границы* ε (без учета знака) *случайной по-*

погрешности оценки измеряемой величины

$$\varepsilon = tS_x, \quad (2.9)$$

где t – коэффициент Стьюдента; S_x – стандартное отклонение среднего арифметического.

При нормальном законе распределения плотности вероятности результатов измерений и ограниченном числе наблюдений среднее арифметическое подчиняется так называемому «закону распределения Стьюдента».

Для оценки доверительных *границ случайной погрешности* в соответствии с этим законом вводится коэффициент Стьюдента t , который зависит от числа наблюдений n и выбранной доверительной вероятности P (которую иногда называют надежностью), см. табл. Приложения Б.

Для определения доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины доверительную вероятность P чаще всего принимают равной 0,95.

В случаях, когда измерение не представляется возможным повторить, помимо границ, соответствующих доверительной вероятности $P = 0,95$, допускается указывать границы для доверительной вероятности $P = 0,99$.

В особых случаях, например при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается кроме доверительной вероятности $P = 0,99$ указывать более высокую доверительную вероятность.

▲ Далее в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 вычисляют доверительные границы *неисключенной систематической погрешности* оценки измеряемой величины.

Неисключенная систематическая погрешность (НСП) результата образуется из неисключенных систематических погрешностей метода, средств измерений, погрешностей поправок и других факторов.

Границы неисключенной систематической погрешности результата измерения θ вычисляют по формуле:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (2.10)$$

где θ – граница i -й неисключенной составляющей систематической погрешности; k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью; m – количество неисключенных составляющих систематической погрешности;

Если $\theta/S_x < 0,8$, то неисключенной систематической погрешностью можно пренебречь и принять границы погрешности результата измерения равными $\pm \varepsilon$.

Если $\theta/S_x > 8$, то случайной погрешностью можно пренебречь и принять границы погрешности результата равными $\pm \theta$.

Если $0,8 < \theta/S_x < 8$, то вычисляют среднее квадратическое отклонение результата как сумму неисключенной систематической погрешности и случайной составляющей, см. далее.

▲ Вычисляют *доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины с учетом случайной и неучтенной систематической погрешностей*. Границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Delta = K S_{\Sigma}, \quad (2.11)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП; S_{Σ} – суммарное среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины (с учетом случайной и неисключенной систематической погрешностей):

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_x^2}, \quad (2.12)$$

где S_{θ} – среднее квадратическое отклонение НСП; S_x – стандартное отклонение среднего арифметического (формула 2.7).

2.5. Форма записи результата измерений

▲ Оформление записи оценок измеряемых величин проводят в соответствии с Правилами по межгосударственной стандартизации ПМГ 96-2009 (Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления).

▲ Округление при обработке результатов измерений выполняют в соответствии с Приложением В.

▲ При симметричных доверительных границах погрешности оценку измеряемой величины представляют в форме

$$X \pm \Delta, P, \quad (2.13)$$

где X – оценка измеряемой величины (среднее арифметическое результата отдельных измерений); Δ – границы погрешности оценки измеряемой величины с учетом случайной и неучтенной систематической погрешностей); P – довери-

тельная вероятность.

▲ Числовое значение оценки измеряемой величины должно оканчиваться цифрой того разряда, что и значение погрешности Δ .

▲ При отсутствии данных о виде функций распределения составляющих погрешности оценки измеряемой величины и необходимости дальнейшей обработки результатов измерений или анализа погрешностей оценку измеряемой величины представляют в форме

$$X; S_x; n; P. \quad (2.14)$$

3. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Выполнить n измерений линейных размеров предложенных изделий нониусным штангенциркулем. Количество измерений n выбирается в зависимости от номера варианта, табл.3.1. Данные измерения занести в табл.3.2.

Для сравнения повторить измерение с помощью электронного штангенциркуля.

Таблица 3.1 – Исходные данные для выполнения практической работы

№ варианта	Количество измерений штангенциркулем n	Уровень значимости q	Доверительная вероятность P , %
1,11	4	2	95
2,12	4	3	98
3,13	4	4	99
4,14	5	5	95
5,15	5	6	98
6,16	5	7	99
7,17	6	8	99,9
8,18	6	2	95
9,19	6	3	98
10,20	6	4	99

3.2. Полагаем, что группа из n независимых наблюдений случайной величины подчиняется нормальному распределению ($n < 15$), см. п.2.4, стр.14.

3.3. В качестве результата измерений принять среднее арифметическое результата отдельных измерений, формула (2.5).

3.4. Вычислить отклонение результата i -го измерения от среднего арифметического (см. пояснение к формуле 2.6). Результаты занести в табл.3.2.

3.5. Вычислить среднее квадратическое отклонение измеряемой величины S , формула (2.6) и стандартное отклонение среднего арифметического S_x , формула (2.7).

3.6. Исключить грубые погрешности (промахи) с помощью критерия Граббса (п.2.4, стр.14). Значения уровня значимости q приведены в табл.3.1. Теоретические значения G_T критерия Граббса при выбранном уровне значимости q приведены в Приложении А, стр.21.

3.7. Определить доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины, формула (2.9). Значения доверительной вероятности P указаны в табл.3.1; значения коэффициента Стьюдента t – в Приложении Б, стр. 22.

3.8. Далее с целью упрощения расчетов полагаем, что выполняется соотношение $\theta/S_x < 0,8$ (см. п.2.4, стр.16), т.е. неисключенной систематической погрешностью можно пренебречь; границы погрешности результата измерения можно принять равными $\pm \varepsilon$ ($\Delta = \varepsilon$).

3.9. В соответствии с (2.13) представляем результат измерений в виде:

$$X \pm \varepsilon, P.$$

3.10. При представлении результатов измерений учесть рекомендации Правил по межгосударственной стандартизации ПМГ 96-2009 (см. п. 2.5, Приложение В, стр.23).

Таблица 3.2 – Результаты расчета

Номер измерения	Результат измерения	Отклонение результата измерения от среднего арифметического значения	Квадрат отклонения результата измерения от среднего арифметического значения
n	x_i	$ x_i - \bar{X} $	$ x_i - \bar{X} ^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

3.11. Аналогичную процедуру измерений и обработку полученных данных произвести с помощью микрометра.

3.12. Сопоставить результаты измерений с помощью штангенциркуля и микрометра.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под линейными измерениями? По каким признакам их классифицируют?
2. Какими критериями руководствуются при выборе средств линейных измерений?
3. Какие универсальные средства линейных измерений Вам известны? Какова их точность?
4. Что понимают под точностью и погрешностью измерений?
5. Как определяют абсолютную и относительную погрешность?
6. Что понимают под «точной», «приближенной» и «предварительной» оценкой погрешностей?
7. Чем отличаются систематические и случайные составляющие погрешности?
8. Какие измерения относят к многократным?
9. Какое значение принимают в качестве результата измерений?
10. Что такое среднее квадратичное отклонение S и стандартное отклонение среднего арифметического S_x ?
11. Каким образом исключают грубые погрешности (промахи)?
12. Как определяют доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины?
13. От каких параметров зависит коэффициент Стьюдента?
14. Что такое доверительная вероятность? От чего она зависит?
15. Что понимают под неисключенной систематической погрешностью?
16. Как определяют доверительные границы неисключенной систематической погрешности оценки измеряемой величины?
17. Каким образом определяют доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины с учетом случайной и неучтенной систематической погрешностей?
18. В каком случае неисключенной систематической погрешностью можно пренебречь?
19. Какова форма записи результатов прямых многократных измерений?
20. Укажите основные правила округления при обработке результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.736-2011 (Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения).
2. Правила по межгосударственной стандартизации ПМГ 96-2009 (Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления).
3. Бичківський Р.В. та ін. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підр. / Р.В. Бичківський та ін. – Львів: вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004.
4. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки : навч. посіб. / В.М. Чинков. – Харків: НТУ «ХП», 2005.
5. Казанцева Н.К. Основы метрологии : учеб. пособ. / Н.К. Казанцева. – Екатеринбург: изд-во Уральского государственного политехнического университета, 2010.
6. Козакова Н.В. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Плоскопаралельні концеві міри та мікрометр» / Н.В. Козакова, Є.В. Островерх, Н.В. Зубкова. – Х.: НТУ «ХП», 2007.

Приложение А. Теоретические значения критерия Граббса

Таблица А.1 – Теоретические значения критерия Граббса G_T

Количество измерений n	Одно наибольшее или одно наименьшее значение при уровне значимости α	
	Свыше 1%	Свыше 5%
3	1,155	1,155
4	1,496	1,481
5	1,764	1,715
6	1,973	1,887
7	2,139	2,020
8	2,274	2,126
9	2,387	2,215
10	2,482	2,290
11	2,564	2,355
12	2,636	2,412
13	2,699	2,462
14	2,755	2,507
15	2,806	2,549
16	2,852	2,585
17	2,894	2,620
18	2,932	2,651
19	2,968	2,681
20	3,001	2,709
21	3,031	2,733
22	3,060	2,758
23	3,087	2,781
24	3,112	2,802
25	3,135	2,822
26	3,157	2,841
27	3,178	2,859
28	3,199	2,876
29	3,218	2,893
30	3,236	2,908
31	3,253	2,924
32	3,270	2,938
33	3,286	2,952
34	3,301	2,965
36	3,330	2,991
38	3,356	3,014
40	3,381	3,036

Приложение Б. Значения коэффициента Стьюдента

Таблица Б.1 – Значения коэффициента Стьюдента в зависимости от количества измерений n и доверительной вероятности P

n	P												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,16	0,33	0,51	0,73	1	1,38	2	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7	9,9	31,6
4	0,14	0,28	0,42	0,58	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,27	0,41	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,13	0,27	0,41	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4	6,9
7	0,13	0,27	0,4	0,55	0,72	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6
8	0,13	0,26	0,4	0,55	0,71	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3	3,5	5,4
9	0,13	0,26	0,4	0,54	0,71	0,9	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5
10	0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,88	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3	4,2
15	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3	4,1
16	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	2,9	4
17	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	4
18	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	4
19	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
20	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
21	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
22	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
23	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
24	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8

Приложение В. Правила округления при обработке результатов измерений

В.1. Точность результатов измерений и точность вычислений при обработке результатов измерений должны быть согласованы с требуемой точностью получаемой оценки измеряемой величины.

В.2. Погрешность оценки измеряемой величины следует выражать не более чем двумя значащими цифрами.

Две значащие цифры в погрешности оценки измеряемой величины сохраняют:

- при точных измерениях;
- если первая значащая цифра не более трех.

В.3. Число цифр в промежуточных вычислениях при обработке результатов измерений должно быть на две больше, чем в окончательном результате.

В.4. Погрешность при промежуточных вычислениях должна быть выражена не более чем тремя значащими цифрами.

В.5. Сохраняемую значащую цифру в погрешности оценки измеряемой величины при округлении увеличивают на единицу, если отбрасываемая цифра неукзываемого младшего разряда больше либо равна пяти, и не изменяют, если она меньше пяти, табл.В.1. Если погрешность округляется до двух значащих цифр, но вторая из них равна нулю, то этот нуль сохраняется, а в соответствующем ему разряде результата записывается получающаяся там значащая цифра: $x = 3.48 \pm 0.10$, см. табл.В.1.

Таблица В.1 - Пример округления результатов измерений

Неокругленный результат	Округленный результат
$1237,2 \pm 32$	$(12,4 \pm 0,3) \cdot 10^2$
$(7,854 \pm 0,0476) \cdot 10^{-3}$	$(7,85 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$
$83,2637 \pm 0,0126$	$83,264 \pm 0,013$
$2,48 \pm 0,931$	$2,5 \pm 0,9$
$2,48 \pm 0,96$	$2,5 \pm 1,0$

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
«Обробка та форма представлення результатів прямого вимірювання
з багатократними спостереженнями»
з дисциплін «Метрологія і основи вимірювань»,
«Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація»,
«Системи технологій»

для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Менеджмент»
денної, заочної та дистанційної форм навчання,
у тому числі для іноземних студентів

Російською мовою

Укладач ПУПАНЬ Лариса Іванівна

Відповідальний за випуск *проф. Пижов І.М.*

Роботу до видання рекомендував *проф. Шелковий О.М.*

В авторській редакції

План 2018 р., поз. 16.

Підп. до друку . . 18 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Riso-друк. Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 1,3. Наклад 100 прим. Зам. № .
Ціна договірنا.

Видавець і виготовлювач

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідectво про державну реєстрацію ДК 5478 від 21.08.2017 р.

Друкарня НТУ «ХП», Харків, вул. Кирпичова, 2